

УДК 658.512:621.9

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА  
ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА,  
СБОРКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ**

*д-р техн. наук, проф. М.Л. ХЕЙФЕЦ, Г.Б. ПРЕМЕНТ*  
(Полоцкий государственный университет);  
*М.В. ПОДОСЕТНИКОВ*  
(ОАО «Полоцкий завод «Проммаширемонт»)

*Рассматривается технологическое управление параметрами качества при механической обработке гильзы цилиндра, сборке и эксплуатации двигателя. Проведенные исследования технологического и эксплуатационного наследования физико-механических и геометрических параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра позволили выявить определяющие процессы передачи свойств при обработке, сборке и эксплуатации двигателя. Показано, что при управлении качеством обработки внутренней поверхности гильзы цилиндра следует регламентировать глубину резания и подачу резца на алмазно-расточных операциях, а на последних операциях механической обработки необходимо строго по регламенту производить обкатку хонинговальных головок до полной приработки алмазных брусков.*

**Введение.** Обеспечение надежности и высокого качества продукции на этапе создания и освоения производства, ремонта изделий заключается в организации такой технологической подготовки и такого производства, при которых продукция соответствовала бы требованиям конструкторской документации и не имела бы вредных последствий от технологических методов обработки. Поэтому все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины и ее техническом обслуживании [1, 2].

Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин. Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов [3, 4].

Процессом технологического наследования можно управлять, с тем чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, – ликвидировать в его начале [5].

Количественные связи технологического наследования позволяют определить, насколько велико влияние наследственности данного свойства на надежность работы детали в собранной машине.

**Передача и взаимовлияние физико-механических и геометрических параметров качества.** При анализе передачи регламентируемых свойств гильзы цилиндра двигателя УМЗ-4173 за основной физико-механический параметр материала принимался интегральный, заложенный в технологической документации – твердость поверхностного слоя (НВ). В качестве геометрических параметров точности и качества рабочей поверхности принимались: конусность ( $q$ ), эллипсность на входе ( $\epsilon_1$ ) и выходе ( $\epsilon_2$ ), шероховатость поверхности ( $R$ ). Конусность характеризовала погрешности формы, эллипсность – точность обработки, а шероховатость – микрорельеф рабочей поверхности гильзы блока цилиндров.

В технологическом процессе изготовления гильзы блока цилиндров выделяли 6 этапов обработки внутренней рабочей поверхности:

- черновую и чистовую расточку на токарных полуавтоматах модели 1Н713;
- черновую и чистовую расточку на алмазно-расточных станках модели 2Е78;
- черновое и чистовое хонингование на хонинговальных станках модели 3Г833.

Контроль параметров качества проводился 8 раз после каждого из приведенных этапов, после обкатки при сборке двигателя и после эксплуатации при возврате двигателя на ремонт.

Замеры геометрических параметров качества производились на рабочей поверхности гильзы, которая является поверхностью трения и находится в контакте с другими деталями.

Результаты измерений по 5 гильзам обрабатывались как средние для класса после каждой из операций механической обработки внутренней поверхности детали и обкатки двигателя, а затем заносились в таблицы. На основе табличных данных строились графики (рис. 1 – 6) изменения физико-механических и геометрических параметров качества на различных этапах технологического процесса изготовления, сборки и эксплуатации гильзы цилиндра двигателя.

По экспериментальным данным рассчитывались коэффициенты передачи технологического и эксплуатационного наследования и коэффициенты взаимовлияния свойств.

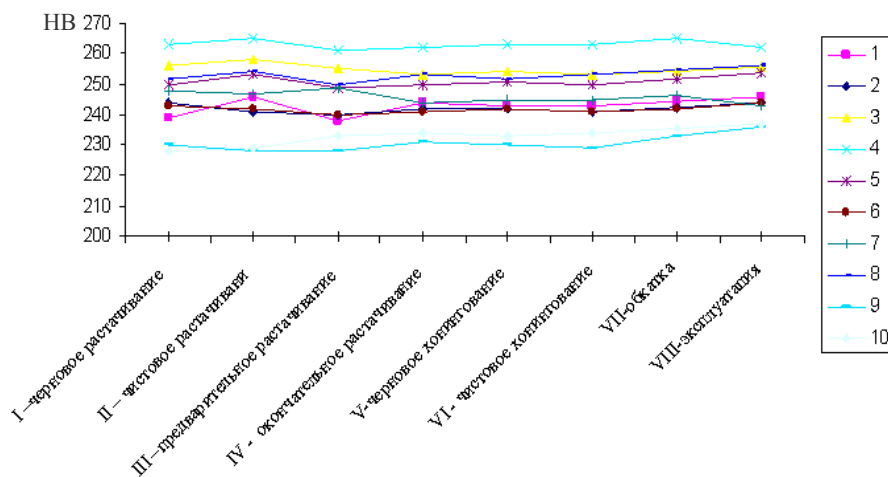


Рис. 1. Изменение твердости поверхностей гильзы блока цилиндров двигателя УМЗ-4173 в процессе изготовления и при эксплуатации

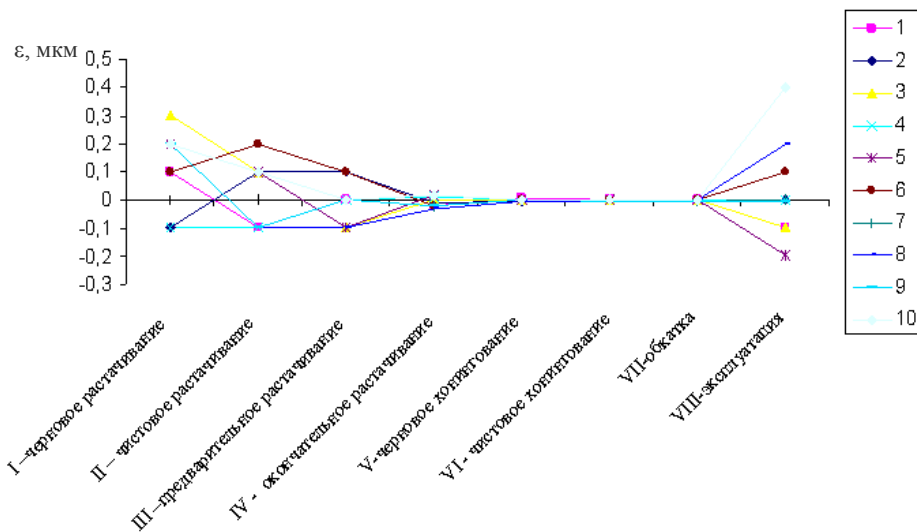


Рис. 2. Изменение эллипсности поверхностей гильзы блока цилиндров двигателя УМЗ-4173 в процессе изготовления и при эксплуатации

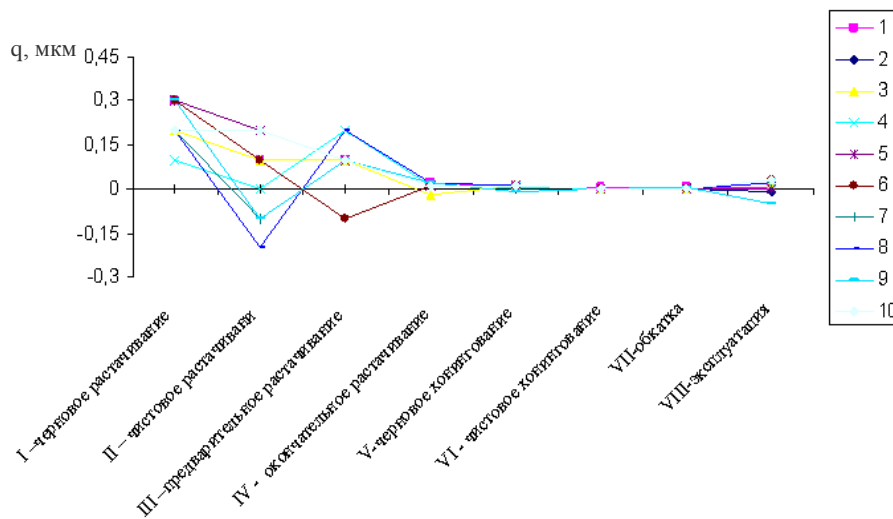


Рис. 3. Изменение конусности поверхностей гильзы блока цилиндров двигателя УМЗ-4173 в процессе изготовления на черновых и чистовых операциях

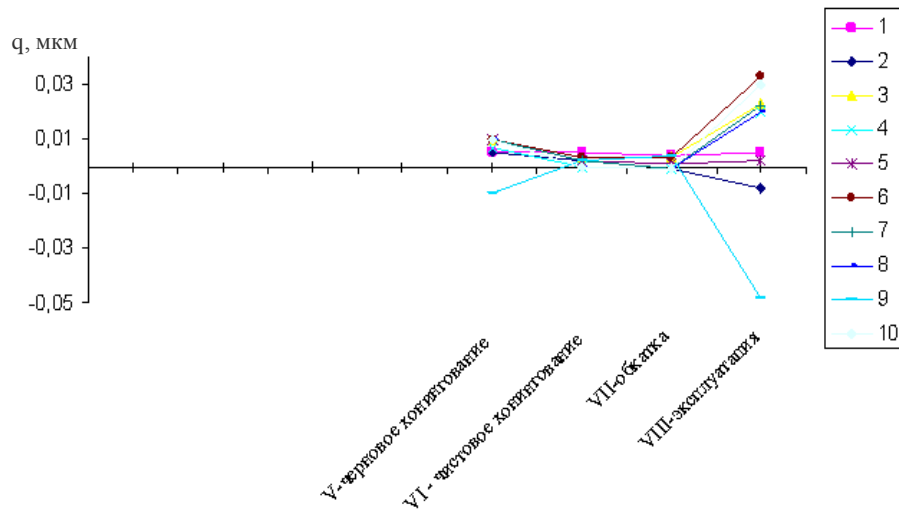


Рис. 4. Изменение конусности поверхностей гильзы блока цилиндров двигателя УМЗ-4173 в процессе изготовления на отделочных операциях и при эксплуатации

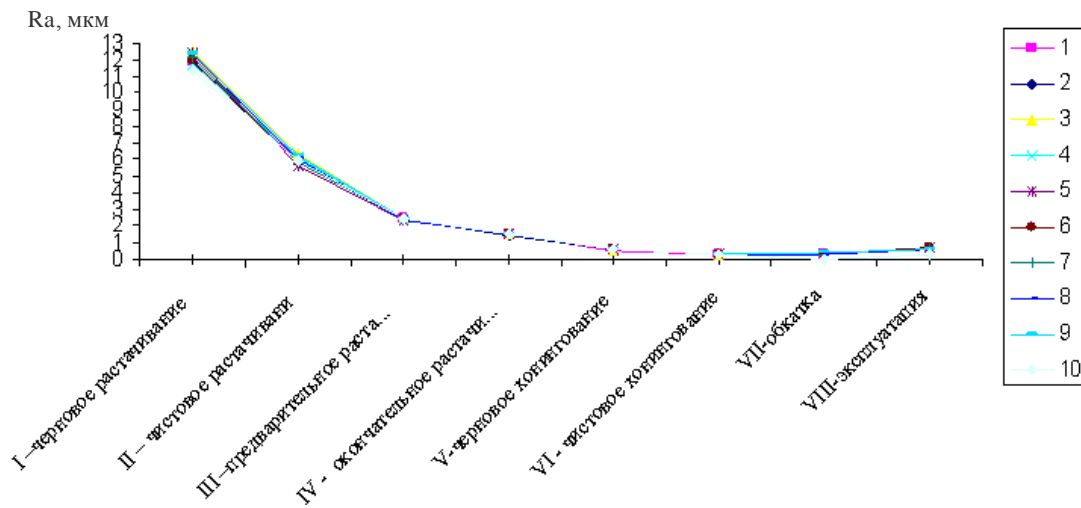


Рис. 5. Изменение шероховатости поверхности гильзы блока цилиндров двигателя УМЗ-4173 в процессе изготовления на черновых и чистовых операциях

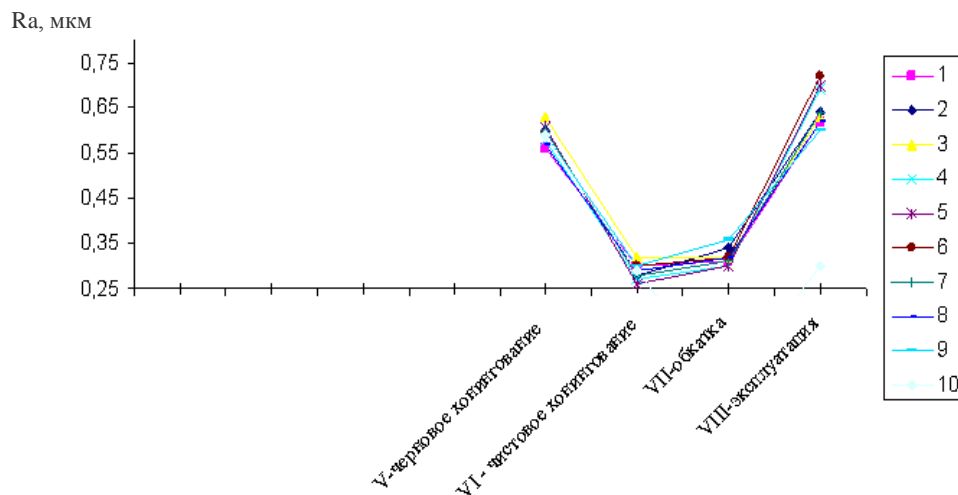


Рис. 6. Изменение шероховатости поверхностей гильзы блока цилиндров двигателя УМЗ-4173 в процессе изготовления на отделочных операциях и при эксплуатации

Для оценки наследования по технологическому маршруту и стадиям эксплуатации рассчитывались результирующие коэффициенты  $K_p$ , равные произведению соответствующих коэффициентов для параметров качества по всей последовательности операций и стадий (табл. 1). Для определения степени влияния наследования на различных технологических операциях и стадиях эксплуатации рассчитывались коэффициенты сравнения  $K_c$ , равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях или стадиях (табл. 2).

Таблица 1

Коэффициенты передачи  $K$  и результирующие коэффициенты наследования  $K_p$  для твердости  $H$ , отклонений формы  $\epsilon$  на входе и на выходе внутренней поверхности, точности размеров  $q$  и шероховатости поверхности  $R$  гильзы цилиндра в процессе изготовления, сборки и при эксплуатации двигателя УМЗ-4173

Операции изготовления и эксплуатации изделия	Коэффициенты передачи параметров качества гильзы блока цилиндров в процессе изготовления и при эксплуатации				
	$K^H$	$K^{\epsilon 1}$	$K^{\epsilon 2}$	$K^q$	$K^R$
Черновое растачивание – чистовое растачивание ( $K_1$ )	0,9940	2,7500	4,3333	4,6667	2,0204
Чистовое растачивание – предварительное растачивание ( $K_2$ )	1,0097	1,3333	-3,0001	0,5001	2,4385
Предварительное растачивание – окончательное растачивание ( $K_3$ )	0,9964	-10,0001	1,4286	10,0001	1,6007
Окончательное растачивание – черновое хонингование ( $K_4$ )	0,9996	-1,6667	-14,0001	1,4926	2,5845
Черновое хонингование – чистовое хонингование ( $K_5$ )	1,0008	4,5000	0,7143	3,5263	2,0485
$K_{p0} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$	1,0004	275,000	185,7143	122,8070	41,7509
Черновое хонингование – обкатка ( $K_6$ )	0,9939	-1,4074	0,7000	1,9001	0,9921
Обкатка – эксплуатация ( $K_7$ )	0,9990	2,8536	0,0328	0,1010	0,4729
$K_{p3} = K_6 \cdot K_7$	0,9930	-0,0040	0,0230	0,1919	0,4692
$K_p = K_{p0} \cdot K_{p3}$	0,9936	-1,1044	4,2623	23,5690	19,5877

Таблица 2

Коэффициенты взаимовлияния  $K$  и сравнения  $K_c$  при передаче физико-механических  $H$  и геометрических  $\epsilon$ ,  $q$ ,  $R$  параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра в процессе изготовления, сборки и при эксплуатации двигателя УМЗ-4173

Операции изготовления и эксплуатации изделия	Коэффициенты взаимовлияния параметров качества гильзы блока цилиндров в процессе изготовления и при эксплуатации					
	$K^{H\epsilon}$	$K^{Hq}$	$K^{HR}$	$K^{\epsilon q}$	$K^{\epsilon R}$	$K^{qR}$
Черновое растачивание – чистовое растачивание ( $K_1$ )	8270,0000	4962,0000	41,5439	2,6000	0,0218	0,0391
$K_c = K_{12} = K_1/K_2$	-0,3313	1,9880	0,4076	8,6667	1,7770	1,9137
Чистовое растачивание – предварительное растачивание ( $K_2$ )	-24960,0000	2496,0000	101,9191	0,3000	0,0122	0,0204
$K_c = K_{23} = K_2/K_3$	0,7068	0,1010	0,6308	-0,3000	-1,8742	0,3124
Предварительное растачивание – окончательное растачивание ( $K_3$ )	-35314,2857	24720,0000	161,5686	-1,0001	-0,0065	0,0654
$K_c = K_{34} = K_3/K_4$	-0,0712	0,6676	0,3856	0,9571	0,5527	3,8693
Окончательное растачивание – черновое хонингование ( $K_4$ )	496199,9999	37029,8508	419,0878	-1,0448	-0,0118	0,0169
$K_c = K_{45} = K_4/K_5$	1,3994	0,2835	0,4880	-3,9701	-6,8344	0,7286
Черновое хонингование – чистовое хонингование ( $K_5$ )	354571,4285	130631,5789	858,8235	0,2631	0,0017	0,0232
$K_c = K_{56} = K_5/K_6$	354571,4285	0,5267	1,0088	0,3759	0,7180	3,5544
Чистовое хонингование – обкатка ( $K_6$ )	0,0010	248000,0000	851,3560	0,7000	0,0024	0,0065
$K_c = K_{67} = K_6/K_7$	0,0001	9,8401	2,1019	6,9300	1,4803	4,0178
Обкатка – эксплуатация ( $K_7$ )	8180,6557	25203,0303	405,0487	0,1010	0,0016	0,0016

**Механизмы наследования физико-механических и геометрических параметров качества.**

На основании обработки экспериментальных данных проведен анализ механизмов наследования физико-механических и геометрических параметров качества на операциях механической обработки детали при сборке и эксплуатации двигателя. Результаты измерений параметров качества в процессе изготовления и при эксплуатации гильзы блока цилиндра показывают закономерности их изменений с позиций технологической и эксплуатационной наследственности. Твердость после предварительного растачивания стабилизируется, что объясняется окончательным снятием отбела на поверхностях чугуновых заготовок. После окончательного растачивания твердость материала гильз выравнивается, приближаясь к твердости, заложенной в конструкторской документации. В этом проявляется устранение вредного влияния технологического наследования физико-механических параметров качества. Анализ геометрических параметров качества рабочей поверхности гильзы цилиндра определил их взаимосвязи с физико-механическими характеристиками поверхностного слоя. Изучение изменений геометрических параметров качества показал их очень большой разброс после обработки растачиванием твердосплавным инструментом поверхности заготовки, полученной литьем. Увеличение отклонений формы, а в результате и точности выполнения размеров, особенно заметно у гильз, имеющих неравномерную твердость, отличную от заложенной в конструкторской документации. Чаще всего это следствие неполного удаления отбела с рабочей поверхности гильзы. Изменение значений шероховатости рабочей поверхности гильзы в процессе обработки происходит постепенно. После каждого последующего вида обработки шероховатость поверхности улучшается все меньше. Это свидетельствует о рациональном наследовании параметров микрорельефа.

В процессе обкатки внутренняя поверхность гильзы цилиндра вступает в непосредственный контакт с поршневыми кольцами, прирабатывается и притирается, что сказывается на свойствах материала и геометрии рабочей поверхности. При анализе результатов отклонений формы, точности размеров и шероховатости внутренней поверхности гильзы существенных различий между значениями, полученными после операций финишной обработки и после обкатки, не наблюдалось. Разброс значений по результатам измерений после обкатки для шероховатости – в пределах 0,1 мкм, при снижении средней величины шероховатости. Это указывает на то, что в результате последовательности операций механической обработки получены оптимальные значения геометрических параметров качества.

При эксплуатации твердость поверхности только стабилизируется, а отклонения формы возвращаются к состоянию после предварительного растачивания алмазным инструментом. Точность размеров приходит к состоянию, обеспеченному окончательным растачиванием алмазным инструментом, а твердость – черновым хонингованием. В результате структура материала, оцениваемая твердостью, влияет на остаточные напряжения, которые приводят к короблению детали и сказываются на точности размеров, взаимосвязанной с формой поверхности.

Таким образом, в процессе обработки и эксплуатации рабочей поверхности гильзы цилиндра вредное влияние технологического и эксплуатационного наследования проявляется прежде всего для прочностных физико-механических свойств материала (твердость  $HB$ ), а затем для отклонений формы (эллипсность  $\epsilon$ ), частично для точности размеров (конусность  $q$ ) и практически не оказывает негативного влияния на рельеф поверхности (шероховатость  $Ra$ ).

**Управление наследованием для улучшения физико-механических и геометрических параметров качества.** Изучение и анализ экспериментальных данных позволили определить основные механизмы технологического и эксплуатационного наследования физико-механических и геометрических параметров качества гильзы цилиндра в процессе изготовления, сборки эксплуатации двигателя.

Значения коэффициентов наследования твердости на начальных операциях механической обработки существенно отличаются и постепенно стабилизируются вследствие того, что происходит снятие отбела и выравнивание неоднородностей материала заготовки.

Анализ наследования погрешностей формы и точности размеров рабочей поверхности после каждой операции механической обработки показывает, что коэффициенты наследования ступенчато, но стабильно улучшаются. При этом наиболее заметное улучшение происходит при повторных операциях растачивания твердосплавным и алмазным инструментом, а также хонингования, вплоть до эксплуатации изделия.

Значения коэффициентов наследования шероховатости показывают, что на начальных операциях микрорельеф поверхности улучшается быстро, затем на операциях алмазной обработки и при обкатке постепенно достигает требуемых величин.

Коэффициенты передачи технологического наследования эксплуатационных параметров качества (см. табл. 1) показывают, что технологический процесс изготовления гильзы цилиндра составлен рационально. Согласно рекомендациям при механической обработке в процессе изготовления детали на начальных операциях следует устранять вредное влияние технологической наследственности [1, 2], т.е. обеспечивать большие коэффициенты наследования ( $K \gg 1$ ) для геометрических и небольшие для физико-механических ( $1 > K > 0$ ) параметров качества, а на заключительных операциях их стабилизировать ( $K \rightarrow 1$ ). Необходимо отметить, что повторы операций растачивания твердосплавным, алмазным инструментом и хонингования также, но только ступенчато, обеспечивают эти рекомендации.

Определяющие коэффициенты взаимовлияния выбирались согласно механизмам передачи свойств отдельных параметров качества и их приоритетов при технологическом и эксплуатационном наследовании. В первую очередь рассматривались коэффициенты влияния твердости на погрешность формы, затем на точность размеров и шероховатость. Далее изучалось влияние погрешности формы на точность и шероховатость, а в последнюю очередь – влияние точности на шероховатость. Коэффициенты взаимовлияния (см. табл. 2) позволяют оценить значимость как технологических операций и стадий эксплуатации, так и факторов, влияющих на параметры качества при обработке, сборке и эксплуатации двигателя.

Твердость материала существенно влияет на геометрические параметры. Для отклонений формы поверхности, точности размеров и частично микрорельефа поверхности это влияние становится все более заметным на заключительных финишных операциях, а также при обкатке и эксплуатации наблюдается тенденция стабильного увеличения коэффициентов взаимовлияния по всем технологическим и эксплуатационным переходам. Взаимовлияние геометрических параметров поверхности эллипсности, конусности и микрорельефа невелико после черновой и чистовой обработки рабочей поверхности гильзы блока цилиндров и практически устраняется на последних операциях хонингования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на наследование влияют как последовательность технологических операций и стадий эксплуатации, так и технологические особенности методов обработки и условия эксплуатации изделия.

Анализ влияния технологических факторов на наследование физико-механических и геометрических параметров качества дал возможность выявить определяющие процессы передачи свойств при изготовлении гильзы блока цилиндров и предложить рекомендации по улучшению качества обработки.

В связи с тем, что процессы хонингования предусматривают снятие минимальных припусков (черновые до 0,02 мм, а чистовые до 0,01 мм), необходимо обратить максимальное внимание на предварительную расточку рабочей поверхности гильзы. В случае нарушения геометрических параметров качества их невозможно эффективно исправить окончательной обработкой при хонинговании. Поэтому при управлении качеством обработки особое внимание следует уделить контролю глубины резания и подачи резца на алмазно-расточных станках. Для получения параметров качества, согласно требованиям чертежа, обкатку хонинговальных головок необходимо проводить строго по регламенту до полной приработки алмазных брусков.

**Выводы.** Проведенные исследования технологического и эксплуатационного наследования физико-механических и геометрических параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра позволили выявить определяющие процессы передачи свойств при обработке, сборке и эксплуатации двигателя. Технологическое и эксплуатационное наследование в процессе изготовления и применения изделия свидетельствует о рационально построенном механосборочном процессе, в котором на начальных операциях устраняется вредное влияние технологической наследственности, а на заключительных операциях, при сборке и эксплуатации, параметры стремятся к улучшению и сохранению своих величин. В целом по всему технологическому и эксплуатационному процессу физико-механические характеристики сохраняются, геометрические при обработке улучшаются, а при эксплуатации ухудшаются в допустимых пределах. При технологическом и эксплуатационном наследовании свойств в процессе изготовления и применения изделия проявляется взаимосвязь физико-механических и геометрических параметров качества детали. Твердость материала существенно влияет на отклонение формы детали, а также на точность размеров поверхностей. Влияние на шероховатость геометрических и физико-механических параметров качества постепенно стабилизируются после каждой операции механической обработки вследствие выравнивания неоднородностей материала. При управлении качеством обработки внутренней поверхности гильзы цилиндра следует регламентировать глубину резания и подачу резца на алмазно-расточных операциях, а на последних операциях механической обработки необходимо строго по регламенту производить обкатку хонинговальных головок до полной приработки алмазных брусков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы управления качеством машин: библиотека технолога / А.С. Васильев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
2. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский [и др.]. – М.: МАИ, 2000. – 364 с.
3. Хейфец, М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 156 с.
4. Ящерицын, П.И. Работоспособность узлов трения машин / П.И. Ящерицын, Ю.В. Скоринин. – Минск, 1984. – 288 с.
5. Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей / П.И. Ящерицын [и др.]. – Новополоцк: ПГУ, 1996. – 136 с.

Поступила 30.07.2009